

**Ю.С.НЕМЧЕНКО**, НТУ «ХПИ», Харьков

## **ЭТАЛОН ЕДИНИЦ МАКСИМАЛЬНЫХ ЗНАЧЕНИЙ ВЫСОКИХ ИМПУЛЬСНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ**

Описано підходи до використання Еталону імпульсного електромагнітного поля (Еталон РЕМП) у якості Еталону високих імпульсних напруг. Проведено експериментальні дослідження з вимірювання імпульсної напруги між електродами полозкової лінії ПЛ-48 за допомогою високонвольтного щупа Р6015А фірми TEKTRONIX і при зміні тривалості фронту вимірюваних імпульсів напруги від 8 до 40 нс.

Approaches to using of Pulsed Electromagnetic Field Standard (PEMF standard) as High Pulsed Voltage Standard are described. Experimental investigation on pulsed voltage measurement between SL-48 strip line electrode with high-voltage probe P6015A TEKTRONIX with variation of front duration of measured voltage pulses from 8 to 40 ns were conducted.

В 2005-2006 гг. в НИПКИ «Молния» был создан, метрологически аттестован и введен в эксплуатацию Исходный Эталон Украины единиц максимальных значений напряженностей импульсных электрического – вольт на метр (В/м) и магнитного – ампер на метр (А/м) полей (Эталон РЭМП). Его основное назначение – метрологическая аттестация и поверка средств измерения напряженностей импульсных электрических и магнитных полей Экспериментальной базы НИПКИ «Молния» и других аналогичных организаций СНГ. Для этой цели Эталон РЭМП содержит в своей конструкции элемент, отвечающий за создание в рабочем объеме аттестационных электрических и магнитных полей, а именно: согласованных на концах полосковых линий с габаритами рабочих объемов 1 x 1,2 x 0,24 м (ПЛ-24) и 2,2 x 1,6 x 0,48 м (ПЛ-48), в которых распространяется плоская электромагнитная волна. Вторичными параметрами работающих полей, создающих эти электрические и магнитные поля, являются токи в электродах ПЛ и напряжения между ними. До недавнего времени на эти параметры ПЛ ( $U$  и  $I$ ) не обращали особого внимания, однако сейчас это мнение пересмотрено в связи с решением использовать Эталон РЭМП для метрологической аттестации средств измерения высоких импульсных напряжений и больших импульсных токов при помощи импульсных напряжений и токов в ПЛ. В этом случае Эталон РЭМП должен стать источником единиц максимальных значений высоких импульсных напряжений – вольт (В) и единиц максимальных значений больших импульсных токов – ампер (А) и в этом режиме ему присвоена новая аббревиатура Эталон-ТН.

В нижеприведенной статье мы рассмотрим процедуру использования части Эталона-ТН, а именно, генерирование единиц максимальных значений высоких импульсных напряжений – вольт (В), первоначально в ПЛ-48.

Для легитимного использования в повседневной практике, и особенно при зачетных испытаниях технических средств (ТС), все виды средств измерительной техники (СИТ), которые применяются при этих испытаниях и измеряют выходные воздействия высоковольтных испытательных установок (ВИУ), должны быть метрологически аттестованы. Стандарт ГОСТ 8.256–77 [1] регламентирует перечень метрологических характеристик (МХ) СИТ, которые необходимо экспериментально определить в процессе их метрологической аттестации. К данным МХ относятся:

- форма переходной характеристики (ПХ) СИТ;
- время нарастания ПХ СИТ  $T_n^{ПХ}$ ;
- постоянная времени спада СИТ  $T_c^{ПХ}$ .

В соответствии с общепринятой практикой МХ СИТ должны удовлетворять следующим условиям

$$T_n^{ПХ} \leq \frac{T_\phi^{ВИУ}}{3}; \quad (1)$$

$$T_c^{ПХ} \gg T_c^{ВИУ}, \quad (2)$$

где  $T_\phi^{ВИУ}$  и  $T_c^{ВИУ}$  – длительности фронта и спада испытательных импульсов напряжения или тока.

В то же время для экспериментального определения МХ СИТ должны выполняться следующие условия

$$T_n^{АГ} \leq \frac{T_n^{ПХ}}{3}; \quad (3)$$

$$T_c^{АГ} \gg T_c^{ПХ}, \quad (4)$$

где  $T_n^{АГ}$  и  $T_c^{АГ}$  – время нарастания и спада импульсов напряжения или тока аттестационного генератора.

Инструментом для экспериментального определения параметров ПХ в высоковольтной импульсной технике общепринято использовать генераторы единичных скачков (ГЕС) напряжения или тока, которые создают единичные или повторяющиеся импульсы напряжения с амплитудой до 500 В и импульсы тока с амплитудой до 10 А и временем нарастания не более 1 нс.

Однако, для метрологической аттестации делителей высокого импульсного напряжения, имеющих коэффициент деления более 10000, ГЕС непригодны, т.к. в этом случае сигнал с выхода делителя будет чрезвычайно мал. Поэтому необходим импульсный аттестационный источник с амплитудой более 10 кВ и временем нарастания не более 20 нс. Таким источником и является Эталон-ТН.

Упрощенная схема замещения Эталона-ТН приведена на рис. 1.

Под выходными импульсами напряжения Эталона–ТН мы считаем напряжение между электродами ПЛ-48 в любой ее точке, т.к. это напряжение одинаково по всей длине ПЛ.

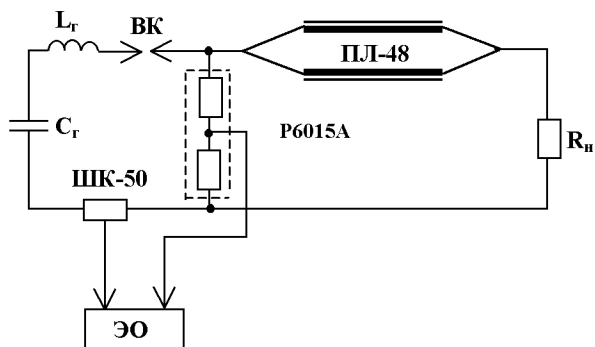


Рисунок 1 – Схема замещения Эталона–ТН:

$C_T$  – емкость ГЭИ;  $L_T$  – суммарная индуктивность разрядного контура;

ВК – высоковольтный коммутатор; ПЛ-48 – полосковая линия;

$R_n$  – согласующая нагрузка ПЛ; ШК-50 – шунт коаксиальный измерительный;

P6015A – щуп высоковольтный

Наиболее приемлемым стандартизованным средством измерения высоковольтных импульсов напряжения является высоковольтный щуп P6015A, изготовления фирмы TEKTRONIX (рис. 2). Этот щуп имеет амплитудный диапазон (до 40 кВ импульсных напряжений), который практически полностью удовлетворяет требованиям Технического Задания на Эталон–ТН (до 50 кВ), и полосу пропускания 75 МГц, что соответствует времени нарастания его переходной характеристики 4,7 нс. Его метрологические характеристики приведены в таблице.



Рисунок 2 – Высоковольтный щуп P6015A

Параметр	Размерность	Величина
1. Амплитудный диапазон	кВ	0,1-40
2. Входное сопротивление	МОм	100,0
3. Коэффициент деления	-	1000,0
4. Полоса пропускания	МГц	75

Данный высоковольтный щуп Р6015А прошел первичную метрологическую аттестацию в ННЦ «Институт метрологии» по методике этого института, по результатам которой нам было выдано свидетельство о метрологической аттестации (СМА).

Щуп включался между электродами полосковой линии ПЛ-48 в различных точках рабочего объема. Одно из мест такой установки приведено на рис. 3.

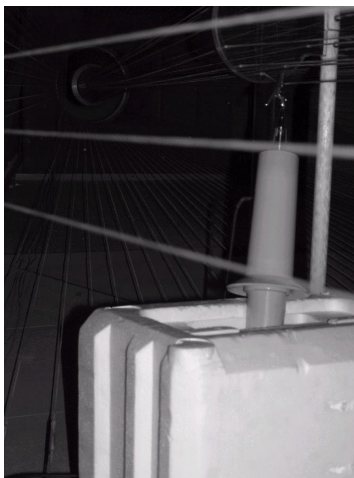


Рисунок 3 – Включение щупа высоковольтного Р6015А между электродами полосковой линии ПЛ-48

На рис. 4 приведена фотография рабочего места для регистрации напряжения на выходе щупа высоковольтного Р6015А, которая расположена вблизи ПЛ-48, а не в измерительной кабине. Это объясняется тем, что длина измерительного кабеля между высоковольтным и низковольтным плечами недостаточна для его прокладки в измерительную кабину (штатная длина кабеля 2 м вместо требуемых 10 м).

Для контроля правильности получаемых осциллограмм импульсов напряжения в Эталоне-ТН по второму каналу осциллографа ТЕКТРОНИХ DPO 4104 одновременно были сняты осциллограммы импульса напряженности электрического поля (штатный измеритель СПЕФВ-ЕК).



Рисунок 4 – Рабочее место для измерения импульсов высокого напряжения при помощи щупа высоковольтного Р6015А

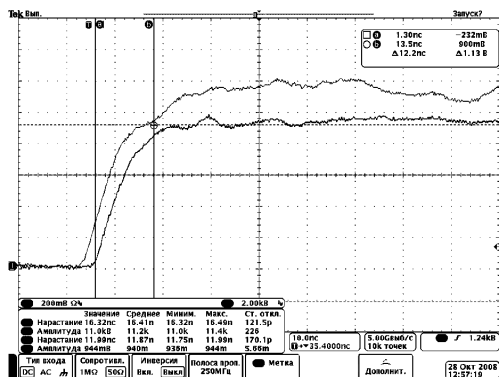


Рисунок 5 – Осциллограммы фронта импульса напряжения с выхода щупа высоковольтного Р6015А (верхняя кривая) и фронта импульса напряжения с выхода измерителя СПЕФВ-ЕК (нижняя кривая) при  $U_{зар} = 10 \text{ kV}$

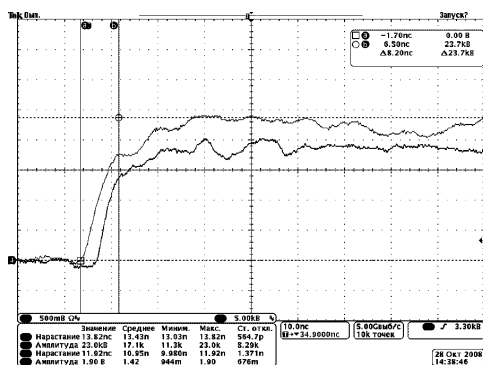


Рисунок 6 – Осциллограммы фронта импульса напряжения с выхода щупа высоковольтного Р6015А (верхняя кривая) и фронта импульса напряжения с выхода измерителя СПЕФВ-ЕК (нижняя кривая) при  $U_{зар} = 20 \text{ kV}$

Для иллюстрации описанного метода измерения импульса напряжения в Эталоне-ТН на рис. 5-8 приведены типовые осциллограммы, на которых для подтверждения правильности их формы по второму каналу осциллографа TEKTRONIX DPO 4104 одновременно были сняты осциллограммы импульса напряженности электрического поля (измеритель СПЕФВ-ЕК).

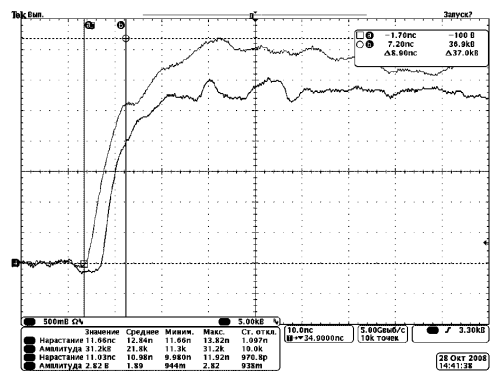


Рисунок 7 – Осциллограммы фронта импульса напряжения с выхода шупа высоковольтного P6015A (верхняя кривая) и фронта импульса напряжения с выхода измерителя СПЕФВ-ЕК (нижняя кривая) при  $U_{зap} = 30\text{ кВ}$

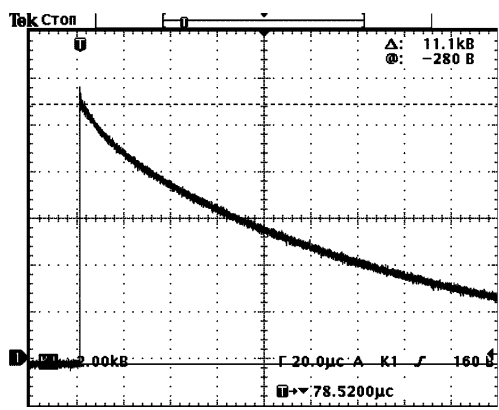
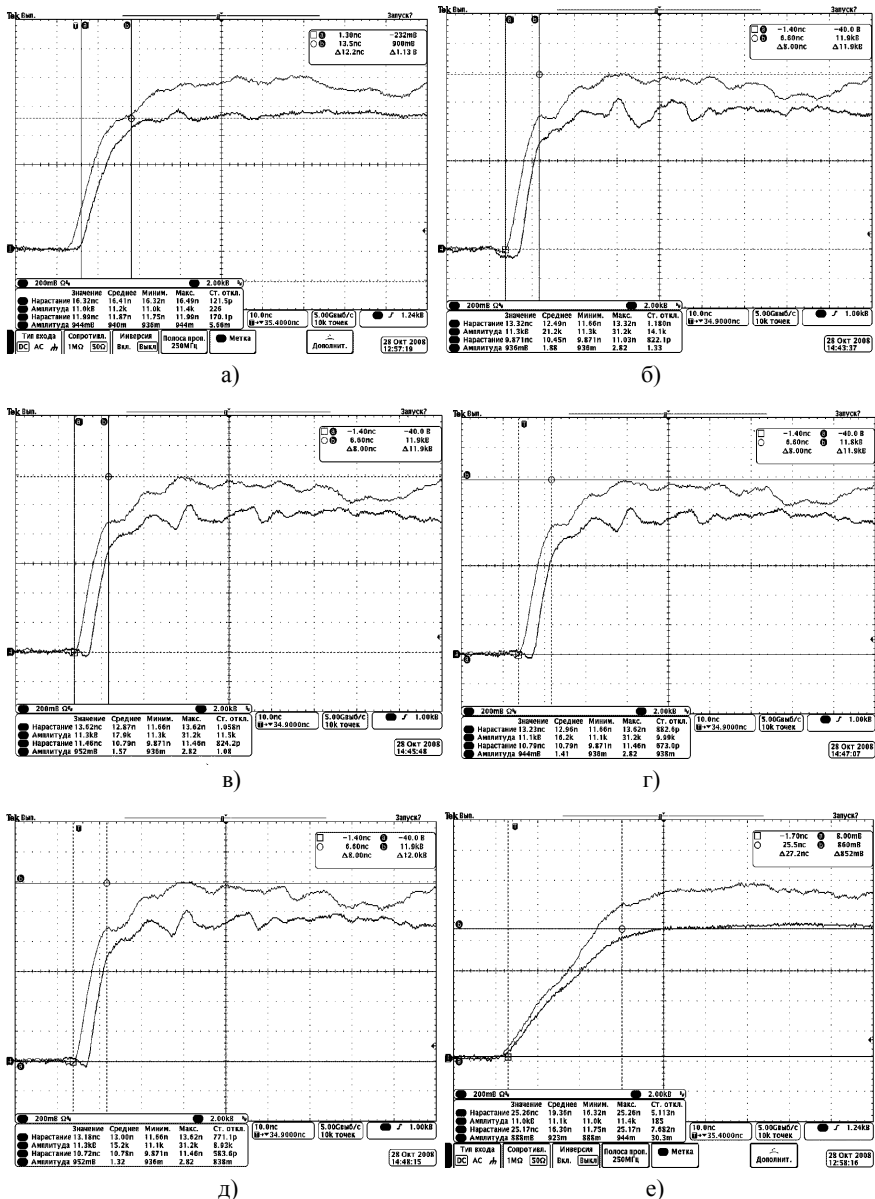


Рисунок 8 – Осциллограмма полного импульса напряжения с выхода шупа высоковольтного P6015A

Из осциллограмм на рисунках 5-8 видно, что формы фронтовой части обоих импульсов напряжения идентичны, что говорит о правильном выборе метода и средств измерения напряжения в Эталоне-ТН.

Подробный анализ всей формы импульса показывает, что шуп высоковольтный P6015A в штатном виде недостаточно пригоден для измерения



из-за появления на осциллограмме небольших паразитных колебаний на столе импульса. Для устранения этого недостатка требуется дополнительная экранировка элементов щупа.

В процессе исследований различных режимов работы Эталона-НТ проводились эксперименты по измерению фронтовой части импульсов тока и напряжения при ее изменении от 8 нс до 20 нс путем изменения давления азота в коммутаторе Эталона РЭМП. Давление изменялось от 1 атм до 6,5 атм (номинальное давление для Эталона РЭМП) с шагом 1 атм. Осциллограммы импульсов напряжения приведены на рис. 9.

Из этих осциллограмм видно, что:

- путем изменения давления азота в коммутаторе Эталона-РЭМП можно уменьшить длительность фронта обоих импульсов от 20 нс (давление 1 атм) до 9 нс (давление 6,5 атм);
- нарастающая часть обоих импульсов идентична друг другу, то есть формы импульсов напряженности электрического поля идентичны, что позволяет сделать вывод о правильности выбранного метода измерения импульсов напряжения.

### **Выводы:**

- 1 Успешно удалось путем необходимых доработок уже действующего Рабочего Эталона единиц максимальных значений напряженностей импульсных электрического – вольт на метр (В/м) и магнитного – ампер на метр (А/м) полей (Эталона РЭМП) расширить его возможности на область генерирования единиц максимальных значений высоких импульсных напряжений – вольт (В) и Эталона единиц максимальных значений больших импульсных токов – ампер (А).
- 2 Эталон-ТН позволяет генерировать высокие импульсные напряжения с амплитудой от 1 до 50 кВ, что полностью соответствует требованиям ТЗ на Эталон-ТН.
- 3 Эталон-ТН позволяет генерировать высокие импульсные напряжения с длительностью фронта от 8 нс до 30 нс и длительностью спада 120 мкс, что полностью соответствует требованиям ТЗ на Эталон-ТН.
- 4 Эталон-ТН позволяет генерировать высокие импульсные напряжения со стабильностью не хуже 1 %, что полностью соответствует требованиям ТЗ на Эталон-ТН.

**Список литературы:** 1. ГОСТ 8.256–77. Государственная система обеспечения единства измерения. Нормирование и определение динамических характеристик аналоговых средств измерения. Основные положения.

*Поступила в редколлегию 22.09.2008.*